

# PENGARUH FAKTOR KECEPATAN UDARA DAN PITCHING STIFFNESS PADA SISTEM DINAMIK FLUTTER PADA PESAWAT TERBANG

Oleh:

Dr. Hartono dan Kus Prihantoso Krisnawan, M.Si.

## 1 Abstrak Rencana Penelitian

Fenomena *flutter* merupakan kejadian yang berbahaya karena dapat merusak struktur pesawat terbang. Oleh karena itu, sangatlah perlu untuk mengetahui karakteristik dari *flutter*. Penelitian ini dimaksudkan untuk mengetahui karakteristik *flutter* melalui model matematis dari sistem *flutter*. Titik ekuilibrium dari sistem *flutter* akan ditentukan dan analisis keadaan dinamik dilakukan di persekitaran titik ekuilibrium tersebut. Selanjutnya, akan diselidiki juga kemungkinan terjadinya bifurkasi. Keadaan dinamik dari sistem *flutter* akan diselidiki dengan menggerakkan 2 buah parameter, yaitu  $Q$  (kecepatan udara) dan  $k_0$  (*linear pitching stiffness*).

## 2 Pendahuluan

### 2.1 Latar Belakang

*Flutter* merupakan fenomena ketidakstabilan dinamik yang bersifat merusak, terutama pada permukaan aerodinamik pesawat seperti misalnya sayap, ekor vertikal dan horisontal. Fenomena *flutter* ini tidak banyak diketahui pada masa-masa awal dibuatnya pesawat, karena pesawat pada masa itu terbang dengan kecepatan rendah dan struktur pesawat dibuat *rigid*. Namun kemudian, fenomena ini menjadi masalah serius ketika kecepatan pesawat semakin meningkat dan struktur sayap dibuat menjadi kurang *rigid* (lebih lentur). Pertimbangan aeroelastisitas mutlak diperlukan dalam mendesain sebuah pesawat, karena *flutter* dapat menyebabkan kelelahan struktur dan bencana (Hodges dan Pierce; 2002). Memperhatikan hal tersebut, maka sangatlah penting untuk mengetahui karakteristik dari *flutter*.

Beberapa peneliti telah berhasil memodelkan sistem *flutter* dan menyelidiki keadaan dinamikya. Pada tahun 1995, Yang, menunjukkan bahwa pada sistem ini muncul osilasi *limit cycle* (*Limit Cycle Oscillation* (LCO)). Kemudian pada tahun 2000, Liu, et al. menggunakan teori *manifold center* untuk meneliti sistem dimensi 8 dan memberikan prediksi atas frekuensi dasar dari LCO. Coller dan Chamara, 2004, mereduksi orde sistem *flutter* menjadi 6 persamaan diferensial berorde 1.

Sistem *flutter* yang diselidiki pada penelitian ini didasarkan pada model *airfoil flutter* yang diberikan oleh Chen dan Liu, 2008. Dipilihnya sistem ini karena lebih sederhana jika dibandingkan dengan sistem yang diteliti

oleh Yang (1995), Liu (2000), maupun Coller dan Chamara (2004). Bentuk dari sistem ini adalah

$$\begin{aligned} \ddot{h} + 0,25\ddot{\alpha} + 0,1\dot{h} + 0,2\dot{\alpha} + 0,1Q\alpha &= 0, \\ 0,25\ddot{h} + 0,5\ddot{\alpha} + 0,1\dot{h} + (k_0 - 0,04Q)\alpha + e_2\alpha^3 &= 0. \end{aligned} \quad (1)$$

dengan  $h$  adalah *plunge displacement of airfoil*,  $\alpha$  adalah *pitch displacement of airfoil*,  $Q$  adalah *kecepatan udara*,  $k_0$  adalah *linear pitching stiffness*, dan  $e_2 > 0$  adalah koefisien kekakuan.

Di dalam makalahnya, Chen dan Liu menunjukkan bahwa pada sistem ini terjadi bifurkasi Hopf superkritikal maupun subkritikal. Penelitian tersebut dilakukan dengan hanya mempertimbangkan satu parameter, yaitu parameter  $\varepsilon$  yang merupakan selisih antara  $Q$  dengan titik kritis  $\bar{Q}$  sedangkan parameter  $k_0$  dibuat tetap (*fixed*) pada nilai 0,08109668. Pada penelitian ini, akan diselidiki keadaan dinamik dari sistem dengan menggunakan 2 parameter, yaitu  $Q$  (kecepatan udara) dan  $k_0$  (*linear pitching stiffness*).

## 2.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang tersebut, didapatkan rumusan masalah sebagai berikut.

1. Bagaimanakah sifat dinamik dari sistem ini di sekitar titik ekuilibrium?
2. Apakah pengaruh perubahan parameter terhadap keadaan dinamik sistem *flutter*?

## 3 Kajian Pustaka

Diberikan sebuah sistem dinamik dengan parameter  $\alpha$ ,

$$\dot{x} = f(x, \alpha), \quad (2)$$

dengan  $x \in \mathbb{R}^n$  dan  $\alpha \in \mathbb{R}^m$ .

**Definisi 1.** (*Wiggins; 1990, 6*): Titik  $\bar{x} \in \mathbb{R}^n$  disebut **titik ekuilibrium** dari sistem (2) jika memenuhi

$$f(\bar{x}, \bar{\alpha}) = 0.$$

**Definisi 2.** (*Perko; 2001, 102*): Titik ekuilibrium  $\bar{x}$  dari sistem (2) dikatakan bersifat **hiperbolik** jika tidak ada nilai eigen yang terletak pada sumbu imajiner.

Jika titik ekuilibrium dari sistem tidak bersifat hiperbolik maka perubahan kecil terhadap nilai parameter  $\alpha$  memungkinkan terjadinya dinamika yang berbeda secara kualitatif dengan sebelumnya. Beberapa contoh yang mungkin adalah: muncul atau hilangnya suatu titik ekuilibrium, perubahan kestabilan dari suatu titik ekuilibrium, munculnya solusi periodik, dan lain-lain.

**Definisi 3.** (*Kuznetsov; 1998, 57*): Munculnya potret fase yang tidak ekuivalen secara topologi akibat perubahan nilai parameter disebut sebagai **bifurkasi**.

Dua sistem dikatakan ekuivalen secara topologi jika ada pemetaan yang homeomorfisma (pemetaan yang kontinu dan inversnya juga kontinu) dari orbit-orbit pada sistem yang pertama onto orbit-orbit pada sistem yang kedua dan kedua sistem mempunyai arah pergerakan orbit yang sama.

**Definisi 4.** (Kuznetsov; 1998, 63): Misalkan  $m$  adalah dimensi dari suatu bifurkasi dan  $n$  adalah maksimal banyaknya parameter bebas sedemikian sehingga dimensi bifurkasi tetap bertahan (persist) pada nilai  $m$ . **Kodimensi** suatu bifurkasi didefinisikan sebagai  $n - m$ .

Beberapa bifurkasi jenis bifurkasi kodimensi satu adalah bifurkasi *saddle-node*, transkritikal, *pitchfork*, *Hopf*. Jenis bifurkasi kodimensi 2, diantaranya adalah bifurkasi *cusp* dan *Bogdanov-Takens*.

#### 4 Bagan Alir

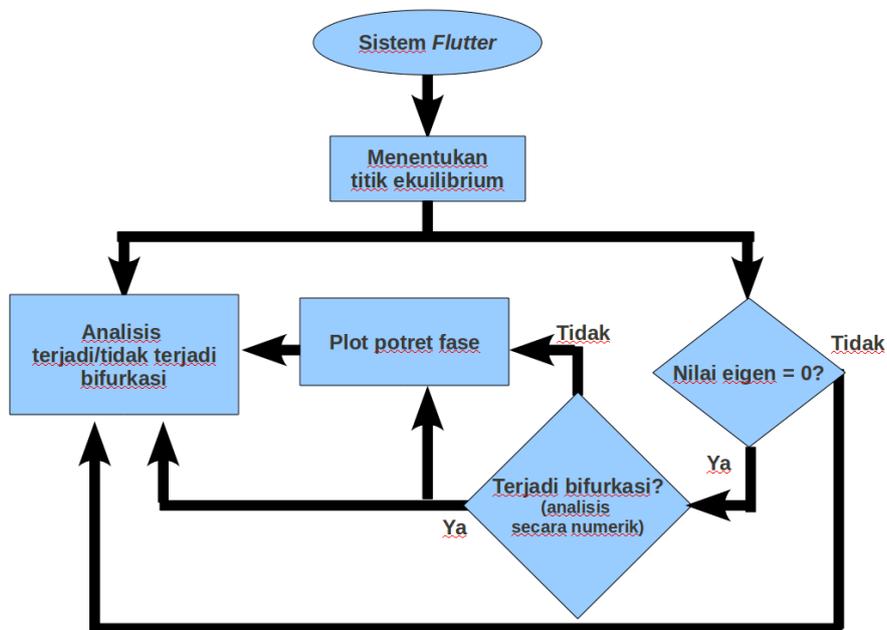


Figure 1: Bagan penelitian yang akan dilakukan

## 5 Personalia Penelitian

### 5.1 Ketua Peneliti

- a. Nama Lengkap : Dr. Hartono
- b. NIP : 19620329 198702 1 002
- c. Jabatan : Lektor Kepala
- d. Jurusan : Pendidikan Matematika
- e. Fakultas : FMIPA
- f. Email : hartono@uny.ac.id

### 5.2 Tim Peneliti

- a. Nama Lengkap : Kus Prihantoso Krisnawan, M.Si.
- b. NIP : 19790406 200501 1 005
- c. Jabatan : Asisten Ahli
- d. Jurusan : Pendidikan Matematika
- e. Fakultas : FMIPA
- f. Email : kusp@uny.ac.id

## 6 Rincian Biaya Penelitian

### 6.1 Anggaran Penelitian

No.	Komponen Pembiayaan	Rincian Anggaran	Prosentase
1.	Gaji dan Upah	jh	30%
2.	Bahan habis pakai	kj	17,63%
3.	Seminar proposal	jk	kl
4.	Seminar hasil	jk	kl
5.	<b>Total</b>	jkk	kll

### 6.2 Jadwal Kegiatan Penelitian

?????

## 7 Daftar Pustaka

1. Chen, Y.M. dan Liu, J.K. 2008. *Supercritical as well as subcritical Hopf bifurcation in nonlinear flutter systems*. Jurnal Applied Mathematics and Mechanics. -Engl. Ed., 2008, 29(2):199–206 DOI 10.1007/s10483-008-0207-x.
2. Coller B D, Chamara P A. 2004. *Structural non-linearities and the nature of the classic flutter instability*. J Sound Vib, 2004, 277(4/5):711–739.
3. Dewey H. Hodges and G. Alvin Pierce. 2002. *Introduction to Structural Dynamics and Aeroelasticity*. Cambridge University Press, first edition.
4. Van der Burgh, A.H.P. dan Hartono. 2002. *Rain-wind-induced vibrations of a simple oscillator*. International Journal of Non-Linear Mechanics 39 (2004) 93-100.
5. Kuznetsov, Y. 1998. *Elements of Applied Bifurcations Theory*. Springer-Verlag: New York.
6. Lee B H K, Price S J, Wong Y S. *Nonlinear aeroelastic analysis of airfoils: bifurcation and chaos*. Progress Aerosp Sci, 1999, 35(3):205–344.
7. Liu L, Wong Y S, Lee B H K. *Application of the center manifold theory in nonlinear aeroelasticity*. J Sound Vib, 2000, 234(4):641–659.
8. Perko, L. 2001. *Differential Equations and Dynamical Systems*. Springer-Verlag: New York.
9. Vinayagamurthy, G. Parammasivam, KM. dan Pillai, S.N. *Flutter Analysis of Wings, Booster Fin and Vertical Tail*. Applied Mechanics and Material, Vols 110-116 (2012) pp 3500-3505. Trans Tech Publications, Switzerland.
10. Wiggins, S. 1990. *Introduction to Applied Nonlinear Dyn. Systems and Chaos*. Springer-Verlag: New York.
11. Yang Y R. *KBM method of analyzing limit cycle flutter of a wing with an external store and comparison with wind tunnel test*. J Sound Vib, 1995, 187(2):271–280.